

The Effect of Temperature and Concentration on Surface Tension for Ethanol Solution

Shenhua HU, Chunhua CUI, Xiaojing MA

Department of Thermal Power of Electrical Engineering College, Xinjiang University, Urumqi, China

Email: hushenhua@xju.edu.cn

Abstract: Surface tension difference is responsible for Marangoni condensation or Marangoni pseudo-dropwise condensation. The surface tension of ethanol solution of different concentration and temperature was investigated experimentally. The experimental investigation showed that the surface tension decreased with increasing temperature for different concentration solution; when temperature kept constant, the surface tension decreased with increasing concentration. Based on experimental value, a formula was fitted after considering the effect of ethanol mass concentration and temperature.

Keywords: Marangoni condensation; surface tension; ethanol solution; temperature and concentration

温度和浓度对酒精溶液表面张力的影响研究

胡中华, 崔春华, 马小晶

新疆大学电气工程学院热动力系, 乌鲁木齐, 中国, 830047

Email: hushenhua@xju.edu.cn

摘要: Marangoni 珠状凝结是由于表面张力的差引起的, 本文用实验的方法研究了不同浓度和温度的酒精溶液的表面张力。实验表明: 不同浓度的溶液, 其表面张力都随着温度的升高而降低; 当温度不变时, 表面张力随浓度的增大而降低。由实验数据, 拟合出了表面张力与浓度和温度的关系式。

关键词: Marangoni 凝结; 表面张力; 酒精溶液; 温度和浓度

1. 引言

换热器是电厂及工业生产中最重要设备之一, 在其中可发生蒸汽的凝结换热。蒸汽的冷凝方式根据冷凝液与冷凝表面的湿润程度可分为膜状冷凝和珠状冷凝, 珠状冷凝其传热系数比膜状冷凝要高一个数量级以上。现有的换热器一般均是以膜状冷凝方式工作的, 若能实现珠状凝结, 则可大大节省金属的消耗和减少换热器的尺寸。在洁净的金属表面可形成珠状凝结, 但难于持久保持。可通过对凝结表面改性, 实现较为持久的珠状凝结^[1-2]。在诸多强化效果中, 利用表面张力作用强化冷凝传热是一种较为理想的途径。

研究发现, 在水中加入某些物质(如酒精、氨等)的混合工质的蒸汽凝结时, 会呈现出类似于珠状凝结的凝结形态, 有学者称之为“伪珠状凝结”(Pseudo-dropwise condensation)。出现这种现象的原

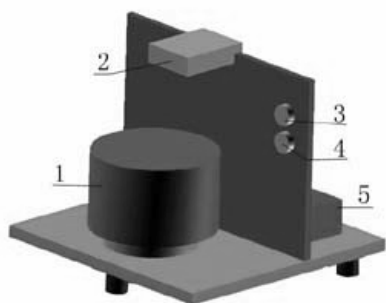
因是因为两种组分的表面张力存在差异, 高沸点组分的表面张力大于低沸点组分的表面张力, 会发生 Marangoni 效应。Marangoni 效应是由于体系液相表面张力梯度的存在, 引发表面张力低的液体向表面张力高的液体方向流动的物理现象, 又被称为 Marangoni 对流。由于 Marangoni 珠状凝结和非共沸混合物的膜状凝结换热相比具有较高的表面传热系数, 目前 Marangoni 凝结换热已成为世界各国学者的一个研究热点: 日本的 Yoshio Utaka^[3]教授利用水-酒精混合蒸气进行了凝结换热实验, 在各种酒精浓度条件下进行了竖直平板的凝结换热性能测量, 得出了凝结换热表面传热系数与过冷度的关系曲线; 西安交通大学的 Marangoni 课题组对平板、圆管和带表面温度梯度的 Marangoni 凝结进行了详细的研究^[4-6]。

综合目前国内外现有的研究可以发现: 现有文献主要关注于 Marangoni 凝结机理、液滴的成长过程, 混合物浓度、表面过冷度、混合蒸气速度对于凝结换热表面传热系数的影响。在实验方面, 关注的是试验件局部的

换热系数, 没有涉及整个换热器整体的换热能力, 也没有建立应用于换热器的 Marangoni 凝结的换热计算公式。同时, 在建立计算关系式时, 必然涉及低沸点组分对凝结液表面张力的影响, 目前关于浓度、压力和温度对混合溶液表面张力影响的实验数据还非常缺乏, 这必然严重制约了进行更深入地研究。本文就浓度和温度对酒精溶液进行了一些实验研究。

2. 实验系统

众所周知, 我们可以根据分子间的互相吸引力来解释液体的性质。这种分子间的吸引力就被称之为分子内聚力或称范德华力。而表面张力、界面张力以及相类似的现象就是用来解释分子内聚力的基本物理现象。表面张力是液体的, 尤其是表面活性剂水溶液的一种基本性质。我们的实验设备选择的是上海中晨数字技术设备有限公司出品的 JK99C 型全自动表面张力仪, 兼容白金板法和白金环法, 是目前精密测量常数级表面张力最成熟最常用的仪器。图 1 为其主机示意图



(1) ascending & descending platform (2) sensor (3) coarse turn (4) fine turn (5) power transformer

Figure 1. Surface tension gauge

(1) 升降平台 (2) 传感器 (3) 粗调旋钮 (4) 细调旋钮 (5) 电源变压器

图 1. 张力仪主机

3. 实验结果

3.1 温度对表面张力的影响

从图 2 可以看出, 随着温度的降低, 不同浓度的酒精溶液的表面张力都在不同程度的增大。我们能够很容易的看出浓度越高的酒精溶液表面张力变化越近似线性关系, 可见温度的变化使液体分子之间的作用力也相应地发生了很大的变化, 同时也使酒精溶液表面两侧 (气相和液相) 之间的密度差发生变化, 所以说温度对酒精溶液的表面张力产生了很大的影响。

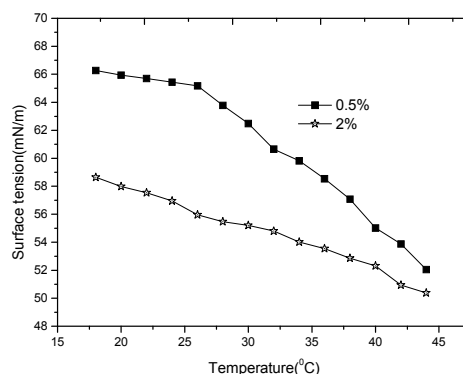


Figure 2. The effect of temperature on surface tension

图 2. 溶液温度对表面张力的影响

3.2 浓度对表面张力的影响

图 3 反应的是温度为 30°C 和 26°C 时, 不同浓度的酒精溶液表面张力的变化情况, 可以看出, 随着浓度的增大, 表面张力是降低的。

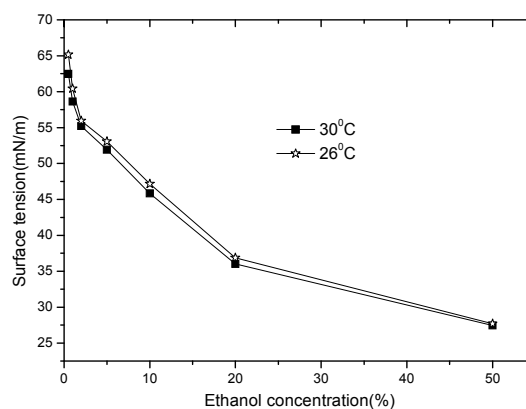


Figure 3. The effect of ethanol concentration on surface tension

图 3. 酒精浓度对表面张力的影响

3.3 浓度和温度对表面张力的影响

从图 4 曲线我们可以容易的看出, 在同一温度下, 液体浓度越低, 其表面张力越大; 对于同一浓度的酒精液体, 随着温度的下降, 其表面张力越来越大; 对于各种浓度的酒精溶液, 表面张力与温度的关系近似呈现线性关系, 而且浓度越低, 其表面张力系数越大; 其表面张力与温度间也近似呈现线性关系。

4. 理论分析

表面张力理论研究我们可以看出液体物质的表面张力从不到 1 mN/m (液氮) 到 70 左右 mN/m (水), 上下相差几十倍, 而表面张力随温度的变化都显示具有负斜率的线性关系, 各线斜率差别不大。

表面张力随温度上升而降低是可以理解的。表面张

力存在的前提有二：一是液体分子间存在相互作用，二是表面两侧的两相（气相和液相）密度不同。此二

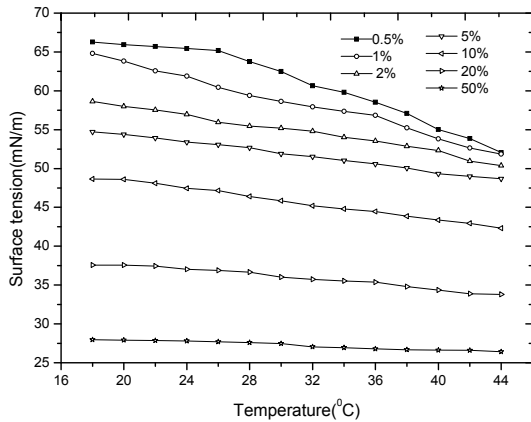


Figure 4. The effect of ethanol concentration and temperature on surface tension
图 4. 酒精浓度和温度对表面张力的影响

因素皆与温度有关。温度上升即使分子间引力减弱，又使两相密度差变小。从对势加法得到的表面张力计算公式

$$\gamma = \frac{\pi(N_L - N_V)^2 A}{24\gamma_L^2} \quad (1)$$

（其中 N_L 和 N_V 分别为液体和蒸汽相单位体积中的分子数， γ_L 液体中分子间的平衡距离）来看，即使在分子引力常数 A 与温度无关的情况下，温度上升总是使公式分子中的 $(N_L - N_V)$ 变小和使其分母中的 γ_L 变大。两者皆以平方形式出现，故 γ 必然变小。

浓度对表面张力的影响可能与溶液的表面吸附力的变化有关。

液体表面张力与温度关系的研究虽已有一个世纪之久，但尚无准确的理论关系。已建立了一些经验关系，在一定范围内可代表实验结果，也可满意地用于内插之类的数据处理。最简单的实验公式是

$$\gamma = a - bt \quad (2)$$

其中 t 为溶液温度。 a 和 b 是最小平方常数^[7]。

该公式表示了表面张力与温度之间的关系，但未包含浓度的影响，为此可依据实验数据拟合出在常压下，不同浓度的酒精溶液表面张力随浓度和温度的变化关系式。利用最小二乘法可获得关系式：

$$a = 74.287c^{-0.202} + 0.0027c^3 - 0.1989c^2 + 3.1497c - 5.9684$$

$$b = 0.4567 - 0.1031 \ln c$$

式中， c 为酒精的质量浓度， t 为酒精溶液的温度。

图 5 表示的为浓度为 1%、5% 和 20% 的实验数据与拟合公式计算值的比较，可以看出，在高中低三种浓度的情况下，公式具有比较高的准确性，为今后理论计算奠定了基础。

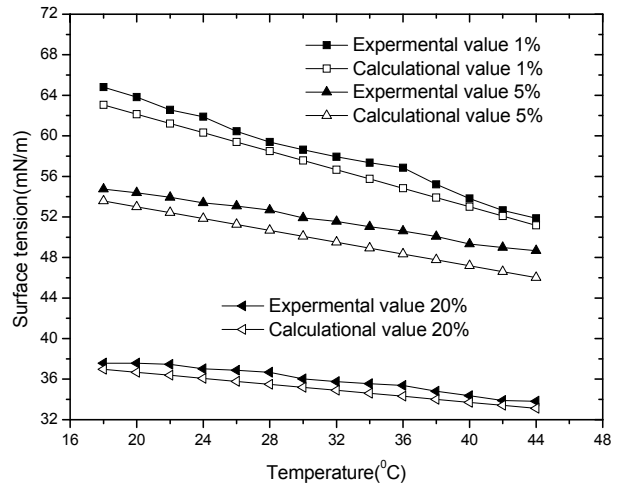


Figure 5. Comparison of surface tension with calculation result
图 5. 计算值与实验值的比较

5. 结论

在工业中，换热器中如能形成 Marangoni 珠状凝结，则可大大减少换热器的体积和减少有色金属的消耗。Marangoni 珠状凝结与表面张力关系密切，为此，进行了不同浓度和温度的酒精溶液的表面张力的测定，并建立了表面张力的计算公式，为建立应用于换热器的 Marangoni 凝结的换热计算公式奠定一定的理论基础。因换热器工作压力不一定在常压下，在后期的研究中，还应当考虑压力对表面张力的影响。

致 谢

感谢国家自然科学基金提供资助 (No. 50966003)。

References (参考文献)

- [1] Neill GAO, Westwater JW. Dropwise condensation of steam on electroplated silver surfaces[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer 1984, 27 (9): 1539-1549.
- [2] Ma X, Rose JW, Xu D. Advances in dropwise condensation heat transfer: Chinese research[J]. Chem Eng J, 2000, 78: 87-93.
- [3] Y. Utaka, S. Wang, Characteristic curves and promotion effect of ethanol addition on steam condensation heat transfer, Int. J. Heat Mass Transfer 47 (2004) 4507 - 4516.
- [4] Y.S. Yang, J.J. Yan, X.Z. Wu, et al., Effects of vapor pressure on Marangoni condensation of steam - ethanol mixtures, J. Thermophys. Heat Transfer 22 (2008) 247 - 253.
- [5] S.H. Hu, J.J. Yan, J.S. Wang, Effect of temperature gradient on Marangoni condensation heat transfer for ethanol - water mix-

- tures, *Int. J. Multiphase Flow* 33 (2007) 935 - 947.
- [6] J.S. Wang, J.J. Yan, S.H. Hu, et al. Marangoni condensation heat transfer of water-ethanol mixtures on a vertical surface with temperature gradients. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52 (2009) 2324-2334.
- [7] YAO Yunbing, *Handbook of Chemistry and Physics* M]. [Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985. 491-492.
姚允斌等编, 物理化学手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 491-492.